



DESENVOLVIMENTO DO BARCO SOLAR DO IFSC

Guilherme Goularte da Silva¹, Rodolfo Levien Correa², Flávio Alberto Bardemaker Batista³, Humberto Reder Gazangi⁴, Marcelo Vandresen⁵, Telles Brunelli Lazzarin⁶, Clovis Antonio Petry⁷

Resumo: A utilização de energias renováveis tem se feito necessária, tendo em vista a quase exclusiva utilização de combustíveis fósseis aplicada no transporte e indústria, e sua consequente poluição excessiva. A energia fotovoltaica apresenta grande potencial sustentável, bom rendimento e baixo índice de poluição se comparada a outras fontes de energias. Com o objetivo de pesquisa e desenvolvimento tecnológico de fontes sustentáveis de energia, neste projeto é explorado o aproveitamento da energia solar para movimentar uma embarcação tripulada, através de um motor elétrico alimentado por duas baterias de Chumbo-Ácido, carregadas por painéis fotovoltaicos distribuídos na superfície do barco. O desenvolvimento de sistemas de controle e gerenciamento eletrônico proposto pela equipe busca a melhor utilização desta energia, afim de participar de competições de alto nível entre instituições de ensino a nível regional, nacional e até internacional. Até o presente momento, não serão apresentados resultados finais, uma vez que a equipe ainda está em fase de testes da embarcação e seus sistemas de comando.

Palavras-chave: Barco solar. Desafio solar. Energia fotovoltaica.

Abstract: *The use of renewable energy has been made necessary, considering the almost exclusive use of fossil fuels applied in transportation and industry, and its consequent excessive pollution. Photovoltaic energy has great sustainable potential, good efficiency and low pollution levels compared to other sources of energy. With the purpose of research and technological development of sustainable energy sources, this project explores the use of solar energy to move a manned boat using an electric motor powered by two lead acid batteries, charged by photovoltaic panels distributed on the surface of the boat. The development of control systems and electronic management proposed by the team seeks the best use of this energy in order to participate in high-level competitions among institutions at regional, national and even international level. To date, no final results will be presented, since the team is still in the testing phase of the vessel and its control systems.*

Keywords: *Solar boat. Solar challenge. Photovoltaic energy.*

¹ Acadêmico do CST em Sistemas Eletrônicos, DAELN, *campus* Florianópolis, IFSC <guilherme.goularte@yahoo.com.br>.

² Acadêmico do Curso de Engenharia Eletrônica, DAELN, *campus* Florianópolis, IFSC <rodo.levien@gmail.com>.

³ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *campus* Florianópolis, IFSC <flabio@ifsc.edu.br>.

⁴ Professor do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM), *campus* Florianópolis, IFSC <humbertoreder@ifsc.edu.br>.

⁵ Professor do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM), *campus* Florianópolis, IFSC <vandresen@ifsc.edu.br>.

⁶ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAEL), *campus* Florianópolis, IFSC <tellesbl@ifsc.edu.br>.

⁷ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *campus* Florianópolis, IFSC <petry@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica tem aumentado ano após ano nos países de modo geral, inclusive no Brasil, devido ao intenso uso de tecnologias eletrônicas seja na indústria, no comércio ou nas residências. Deste modo, o uso de energias alternativas, dentre elas a eólica e a fotovoltaica, tem despertado interesse crescente e redução dos

custos iniciais, tornando-se viável em pequenas ou grandes escalas. A energia fotovoltaica, obtida de painéis fotovoltaicos além de ser limpa, está disponível na forma de corrente contínua, o que a torna atrativa para alimentação de cargas do tipo motores de corrente contínua, circuitos de sinalização e rádio-transmissão, processamento de sinais, dentre outras. Um dos inconvenientes das energias alternativas do tipo eólica e fotovoltaica é a

sazonalidade da geração, o que implica na necessidade de armazenamento, convencionalmente em baterias de chumbo-ácido.

Assim, este trabalho propõe o estudo e implementação de um sistema de geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos para acionamento de motores de corrente contínua para pequenas embarcações, denominados de barcos solares (FREITAS, 2008; RÜTHER, 1999). O maior desafio no desenvolvimento do projeto proposto é o monitoramento do ponto de máxima potência dos painéis fotovoltaicos e os métodos de carga das baterias, visando a otimização da geração de energia em função do consumo apresentado pelo sistema completo.

2. METODOLOGIA

O projeto proposto será desenvolvido seguindo-se as grandes etapas a seguir:

- Redefinição do problema geral da pesquisa, objetivo geral e específicos – considerando a formação e conhecimentos da equipe técnica em relação ao projeto em desenvolvimento.
- Revisão bibliográfica e estudos introdutórios – serão levantados e estudados projetos anteriores e referências bibliográficas na área, visando a formação teórica dos membros da equipe e o posicionamento de cada bloco do sistema em relação ao estado da arte em termos tecnológicos para seu desenvolvimento.
- Proposição e teste de soluções – a partir dos resultados da revisão bibliográfica, serão apresentadas soluções para a implementação dos blocos do sistema descritos anteriormente e que serão testadas com simulação numérica empregando-se simuladores de circuitos eletrônicos.
- Construção de protótipos – os circuitos propostos e testados por simulação serão implementados em matrizes de contato e placas de circuito impresso, visando a verificação de funcionalidade prática e a realização de ajustes e reprojets necessários.
- Documentação e difusão dos conhecimentos gerados – a partir da redação dos relatórios parciais de cada etapa do projeto, da elaboração de artigos e notas técnicas e demais materiais divulgativos, será realizada a difusão do conhecimento obtido, bem como a divulgação das energias alternativas para

geração de energia elétrica e suas possíveis aplicações práticas.

3. BARCO SOLAR

Um barco propulsado por energia solar é formado por um conjunto de subsistemas e elementos que tornam possível a captura da energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos e seu armazenamento em elementos armazenadores específicos (HOHM, 2003). No diagrama de blocos mostrado na Figura 1, pode-se notar os seguintes elementos principais:

- Conjunto de painéis fotovoltaicos – arranjo formado por painéis fotovoltaicos com conexões série ou paralelo, para originar uma potência da ordem de 1.000 W;
- Carregador de baterias – conversor cc-cc de alto rendimento e com objetivo específico de proporcionar a carga segura das baterias. Este conversor precisa ser corretamente controlado para aplicar o método correto de carga conforme a tecnologia das baterias;
- Baterias – elementos armazenadores de energia, que são necessários para proporcionar o acionamento do motor elétrico na ausência de sol ou em momentos críticos da competição, tais como na largada das baterias e na navegação contra-correnteza ou contravento;
- Driver do motor – circuito eletrônico responsável pelo acionamento do motor de corrente contínua, constituído por um conversor cc-cc controlado adequadamente com a finalidade de acionar o motor para obter-se a velocidade correta e a economia de energia necessária para aumentar a autonomia do sistema (BARBI, 2000);
- Motor CC – elemento responsável pela propulsão do barco, que deve ter o maior rendimento possível e características elétricas compatíveis com o restante do sistema, ou seja, potência suficiente para movimentar a embarcação de forma segura e eficiente;
- Sistema de transmissão – responsável pelo acoplamento mecânico do motor com a hélice propulsora da embarcação;
- Sistemas de supervisão e controle – são os circuitos responsáveis pela supervisão das principais grandezas do sistema completo e consequentemente pelo controle dos principais circuitos (carregador de baterias, acionamento do motor, etc.);

- Sistema de sobrevivência – conjunto de elementos necessários para proteção da vida do tripulante da embarcação;
- Estrutura do barco – casco da embarcação, que servirá de suporte e meio de

armazenamento de todos os sistemas e elementos, além do tripulante, e que flutuará sendo impulsionada pelo sistema de propulsão.

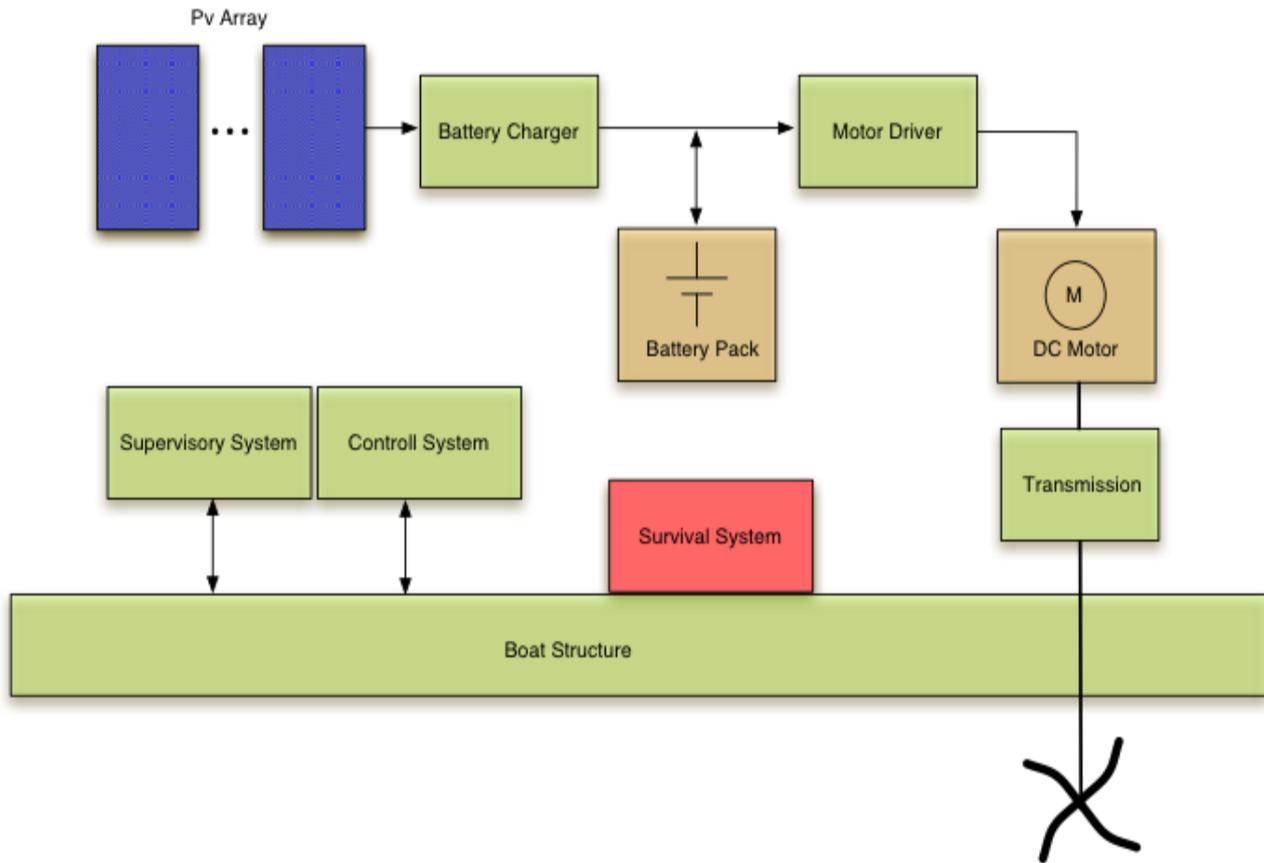


FIGURA 1 - Diagrama de blocos do Barco Solar.

4. MOTORES PARA PROPULSÃO DO BARCO

Além disso, foram desenvolvidos testes de rendimento com motores elétricos de corrente contínua, utilizados para propulsão de pequenas embarcações de passeio. Estes motores apresentam um rendimento baixo (menor que 20%), quando comparados a motores de corrente alternada, por exemplo. No entanto, são de menor custo e encontrados facilmente no comércio local de regiões litorâneas ou que possuam rios, lagos, barragens, etc. Por sua vez, os motores elétricos específicos para embarcações de alto desempenho possuem custo elevado e comumente são importados. Na foto da Figura 2 mostra-se o *setup* utilizado para o ensaio de rendimento dos motores elétricos de corrente contínua.

Em detalhe, na foto na Figura 3, o motor elétrico blindado que será utilizado para a propulsão da embarcação.



FIGURA 2 - *Setup* utilizado para teste do rendimento dos motores.

5. ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Conforme as regras do Desafio Solar, a potência máxima do sistema será de 1 kW, o que impõe um limite para a capacidade de baterias a ser utilizada, assim como de painéis fotovoltaicos e de motores. As possibilidades de baterias são listadas a seguir:



FIGURA 3 - Detalhe do motor elétrico de corrente contínua blindado.

- Chumbo-ácido e chumbo-gel 26.0 kg (38.5 Wh/kg);
- Níquel-cádmio 20.0 kg (50 Wh/kg) ;
- Níquel-metal híbrido 14.3 kg (70 Wh/kg);
- Prata-Zinco 8.0 kg (125 Wh/kg);
- Níquel-Zinco 15.2 kg (66 Wh/kg);
- Níquel-Ferro 20.0 kg (50 Wh/kg);
- Standart Lítium íon 7.1 kg (140 Wh/kg);
- Lítium-Polímero 6.0 kg (167 Wh/kg).

Deste modo verifica-se que a bateria, para se obter a potência de 1.000 W, será a Chumbo-Ácido. Definiu-se pelo uso de duas baterias desta tecnologia, do fabricante Optima, modelo Yellow Top D51, com capacidade de 38 Ah. Na Figura 4 mostra-se uma imagem das baterias adquiridas para o barco solar. Estas baterias utilizam uma tecnologia denominada de Spiralcell, que permite recargas mais rápidas, com correntes da ordem 26%. Os separadores entre as placas destas baterias são de manta de microfibras (AGM) (ARMSTRONG, 2008).



FIGURA 4 - Baterias utilizadas no Barco Solar.

6. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Em relação aos painéis fotovoltaicos, foram conduzidos estudos visando determinar a melhor forma do arranjo, para 4 módulos de 240 W cada, aproximadamente. Os circuitos eletrônicos de interfaceamento (conexão) entre painéis, baterias e motores, são determinados pelos níveis de tensão e corrente em cada parte do conjunto. Assim, foram desenvolvidos ensaios com painéis fotovoltaicos de menor potência, visando se determinar o comportamento (curva $I_{pv} \times V_{pv}$) dos painéis individualmente e com conexão série e paralela (BLUE SKY ENERGY, 2010; COELHO, 2008; CRESESB, 2010; DEMONTI, 2003; FEMIA, 2005). Os painéis ensaiados são de 10 W, modelo SL-10 do fabricante Sunlab Power. Estes painéis possuem tensão de circuito aberto de 21,7 V e corrente de curto-circuito de 0,63 A. No ponto de máxima potência tem-se uma tensão de 17,4 V e 0,58 A.

O ensaio realizado com os painéis individualmente é mostrado na Figura 5, que apresenta tem a potência de cada painel e a soma linear das mesmas.

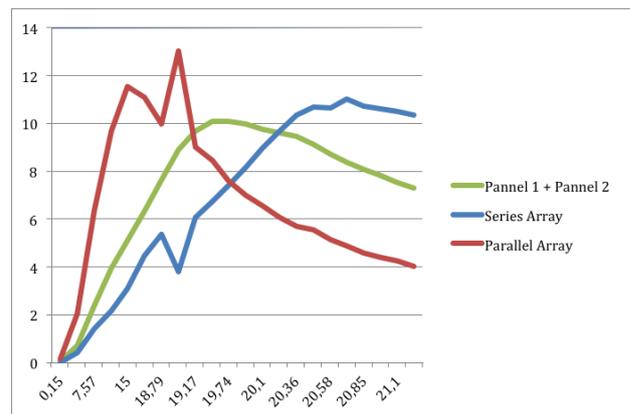


FIGURA 5 - Ensaio individual dos painéis.

Nota-se nesta figura que a potência gerada pelos painéis não é de 10 W, que seria a potência nominal dos mesmos. Isso se deve às condições durante as quais os testes foram realizados. Já na Figura 6 mostram-se as curvas obtidas com a associação série e com a associação em paralelo dos painéis. Nota-se que na associação série, a potência máxima é atingida com uma tensão maior, da ordem de 20,85 V, enquanto na associação em paralelo se tem um valor máximo com tensão da ordem de 19 V. É interessante notar que a potência obtida da associação é maior do que a soma das potências dos painéis. Isso pode ocorrer porque os ensaios foram realizados em momentos diferentes, quando tanto a temperatura como a intensidade luminosa sobre os painéis estava diferente em comparação aos ensaios com os painéis individualmente.

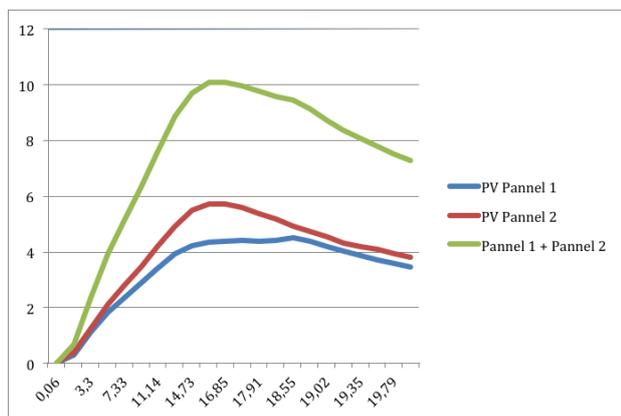


FIGURA 6 - Ensaio com associação série e paralela de painéis.

Os resultados obtidos indicaram que em situações nas quais os painéis ficam submetidos a temperaturas diferentes, é recomendável a conexão série, visto que a corrente do conjunto será pouco influenciada pela diferença de temperatura dos painéis, mas em contrapartida, a tensão será altamente influenciada, mas que no resultado será a soma das tensões individuais dos painéis. Já em situações onde ocorrem diferenças de luminosidade sobre o conjunto de painéis, seria recomendável a conexão em paralelo, visto que daí a corrente resultante seria a soma das correntes individuais de cada painel.

7. ESTRUTURA MECÂNICA DO BARCO

Já a parte mecânica do barco é subdividida em três subsistemas: casco, sistema de propulsão e sistema de direção.

O casco é a estrutura física que tem por função principal conferir a flutuabilidade da embarcação, assegurando empuxo suficiente para que todo o peso e volume permaneçam acima da linha de superfície da água. Como funções secundárias destacam-se assegurar a estabilidade da estrutura, o suporte aos demais subsistemas e a capacidade de navegar com a menor resistência possível pelo atrito do casco com a água. A estrutura pode ser composta por um único elemento, conhecida como monocasco, ou por múltiplos cascos, caso dos catamarãs (duplo casco) e trimarãs. Os materiais normalmente utilizados são madeira, alumínio, fibra de vidro, entre outros. Para iniciar este projeto, a equipe irá utilizar um modelo monocasco de fibra de carbono cedido pela equipe Vento Sul da Universidade Federal de Santa Catarina.

A movimentação da embarcação é realizada pela associação do sistema de propulsão/transmissão e do sistema de direção.

O sistema de propulsão/transmissão gera a força necessária para o deslocamento do barco ao converter a energia elétrica em energia mecânica. A propulsão é garantida pelo motor CC que resulta um

movimento rotativo e pode ser aproveitado para impulsionar a embarcação utilizando-se de hélices ou turbinas de jato de água. No caso desta embarcação, o empuxo será realizado pela conexão de uma hélice ao eixo do motor CC por meio de uma transmissão redutora que irá conferir a rotação ideal de saída. O material da hélice deverá ser alumínio para assegurar resistência mecânica, leveza e ao mesmo tempo é fácil de ser trabalhado, o que facilita o processo de balanceamento do conjunto de propulsão.

O sistema de direção tem como função permitir a alteração de curso da embarcação ao modificar a direção resultante do empuxo gerado. Neste caso, será empregado um leme na popa da embarcação e seu comando será executado por um conjunto de cabos e polias conectados a um volante junto ao habitáculo do piloto.

8. CONCLUSÕES

O projeto de desenvolvimento do Barco Solar do IFSC iniciou em 2012 e atualmente está em fase de testes para participação do Desafio Solar Brasil 2013, que será realizado no Rio de Janeiro em julho do corrente ano.

Assim, os elementos elétricos estão sendo interligados e o sistema mecânico está em fase de testes operacionais.

Optou-se nesta fase inicial do projeto em utilizar predominantemente componentes comerciais, visando o domínio tecnológico do sistema, para posterior desenvolvimento de elementos visando a otimização do sistema.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Departamento de Engenharia Mecânica e a Equipe Vento Sul, ambas da Universidade Federal de Santa Catarina, pela doação do casco para a construção do Barco Solar do IFSC. Também manifestam seu agradecimento à FAPESC (Chamada Pública 04/2012 - T.O. 11.340/2012-9) pelo aporte financeiro para o desenvolvimento do projeto por meio do LPEE (Laboratório de Processamento Eletrônico de Energia).

REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, S.; GLAVIN, M. E.; HURLEY, W. G. *Comparison of battery charging algorithms for stand alone photovoltaic systems*. **IEEE Transactions on Power Electronics**, Ireland, pp. 1469-1475. July 2008.
- BARBI, I.; MARTINS, D. C. **Conversores CC-CC Básicos não Isolados**. Edição dos Autores. Florianópolis, SC - Brasil, 2000.

BLUE SKY ENERGY. **What is maximum power point tracking (mppt) and how does it work?**,

Disponível em: <<http://www.blueskyenergyinc.com/>>. Acessado em 28 abr. 2010.

COELHO, Roberto Francisco. **Estudo dos conversores buck e boost aplicados ao rastreamento de máxima potência de sistemas solares fotovoltaicos**. 2008. 169 f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CRESESB. **Energia solar - princípios e aplicações, tutorial do centro de referência para energia solar e eólica**. Sérgio de Salvo Brito.

Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em 14 abr. 2010.

DEMONTI, Rogers. **Processamento da energia elétrica proveniente de módulos fotovoltaicos**. 2003. 164 f. Tese de Doutorado – Faculdade de

Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FEMIA, Dick et al. *Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method*. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 20, n. 4, pp. 963-973, 2005.

FREITAS, Susana S. Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. 104 f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia Industrial ramo Engenharia Eletrotécnica, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2008.

HOHM, D. P.; ROPP, M. E. *Comparative study of maximum power point tracking algorithms - Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 11, pp. 47–62, 2003.

RÜTHER, Ricardo. **Panorama atual da utilização da energia solar fotovoltaica e o trabalho do LABSolar nesta área**. Florianópolis: UFSC, 1999.